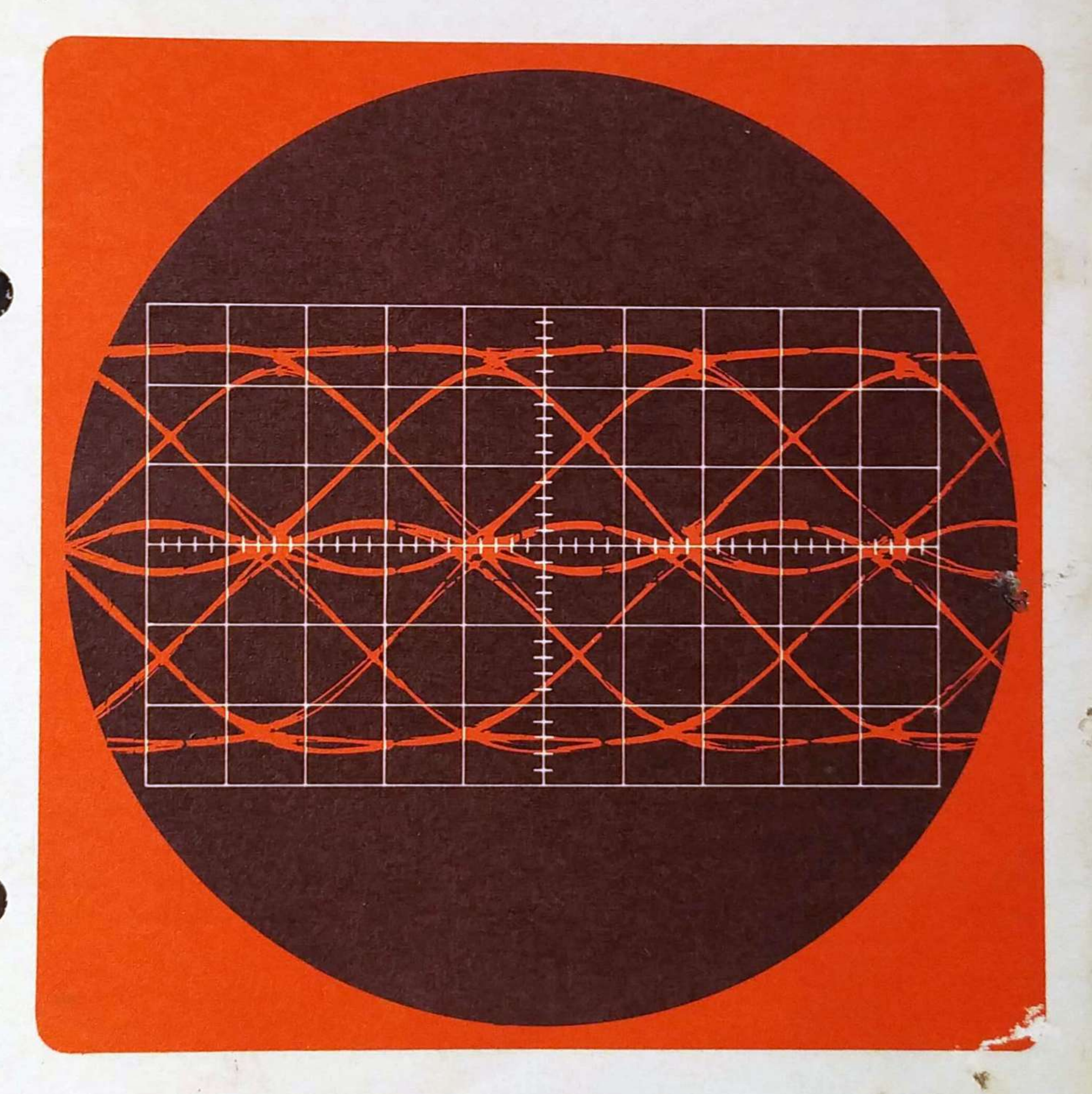
FEBRERO DE 1969 • Nº 155

El Demodulador Lenkurt

Acondicionamiento de circuitos de voz para la transmisión de datos ◦◦◦ Parte I





A medida que se perfeccionan los sistemas de información digital y aumenta la velocidad de transmisión, aumentan también las exigencias de calidad técnica de los circuitos empleados para la comunicación.

LA calidad técnica de las redes de comunicación es una característica relativa. Existen numerosos circuitos que poseen un óptimo rendimiento para servicio telefónico, que en cambio no tienen una calidad satisfactoria para la transmisión por impulsos codificados. Este problema carecía de importancia antes de comenzar la sorprendente demanda de circuitos para servicio de telegrafía automática (teletipo), fototelegrafía (facsímil), datos de computadoras electrónicas y otras formas de información digital. En la actualidad, sin embargo, el creciente volumen de tráfico de información digital está preocupando seriamente a muchas administraciones de telecomunicaciones y empresas telefónicas, las cuales se ven en la imperiosa necesidad de mejorar sus redes para atender con eficiencia el nuevo servicio.

En vista que no es factible reemplazar todos los circuitos telefónicos existentes ni instalar nuevas redes exclusivas para la transmisión digital, la solución lógica es mejorar la calidad de los circuitos en uso actual.

Las dificultades con que se tropieza para la transmisión de información digital por circuitos de frecuencia de voz se deben principalmente a dos fenómenos eléctricos: la distorsión de retardo y la de amplitud. Afortunadamente ambos fenómenos pueden superarse con un *acondicionamiento* adecuado de los circuitos mediante dispositivos especiales. Por ejemplo, Lenkurt fabrica un compensador (o igualador) regulable, el tipo 971B, desarrollado específicamente para resolver los problemas de distorsión de los circuitos telefónicos destinados a tráfico digital (véase figura 1). La unidad 971B compensa tanto la distorsión de amplitud como la de retardo de envolvente de onda y acondiciona los circuitos para satisfacer las normas de transmisión C-1 a C-4.

Distorsión de retardo

La *distorsión de retardo,* también llamada *distorsión de fase,* consiste en una deformación de la envolvente de onda de las señales, que se produce en los circuitos de comunicación por falta de linealidad de la curva característica de retardo de fase en función de la frecuencia del circuito.*

En las líneas de transmisión telefónica, la distorsión de retardo se debe

---

***En *El Demodulador Lenkurt* No. 111 de junio de 1965 se trató extensamente el tema de la distorsión de retardo.**

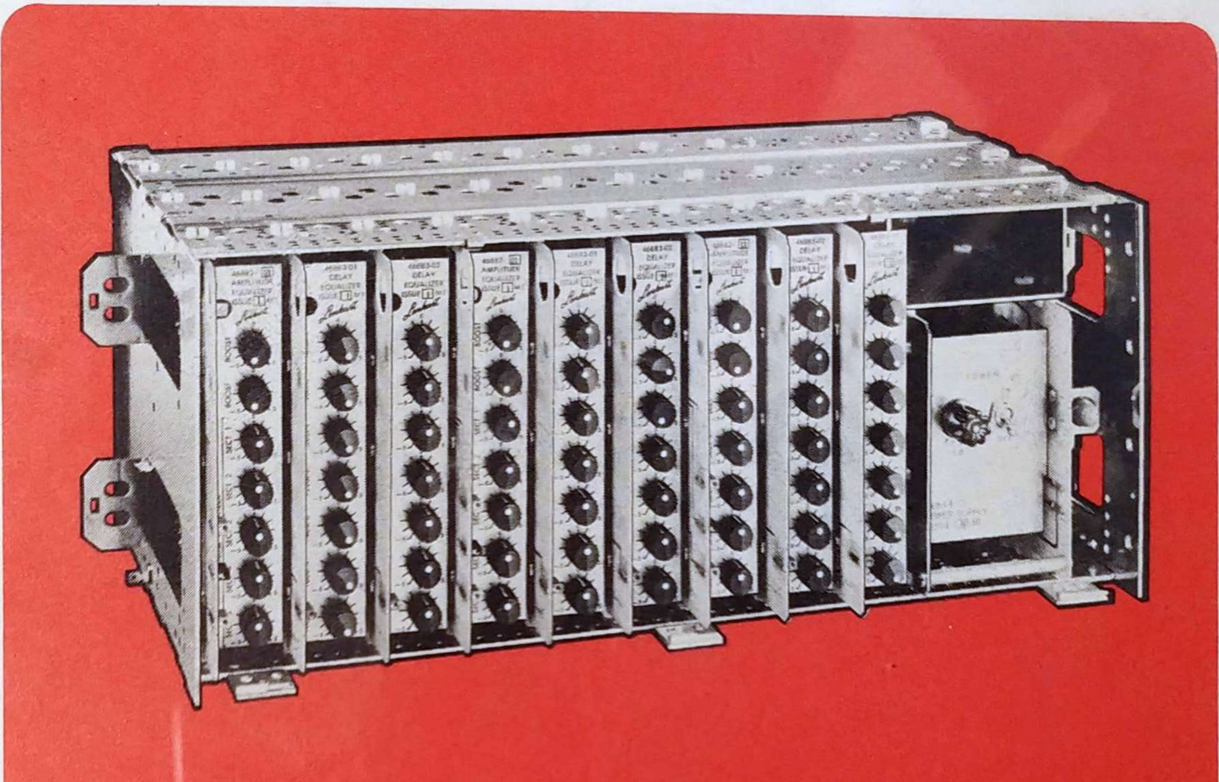


Figura 1. Sistema igualador regulable Lenkurt 971B. La caja contiene tres etapas independientes de igualación en forma de unidades enchufables. Cada etapa consiste en una unidad igualadora de amplitud de 5 secciones, con dos amplificadores de refuerzo de alta frecuencia, y dos unidades igualadoras de retardo de 7 secciones cada una.

principalmente a los efectos capacitivos e inductivos que tienen los transformadores y amplificadores en las frecuencias bajas de la banda de voz. En frecuencias elevadas, la distorsión es causada por las bobinas de carga o la capacitancia de la línea.

En los circuitos de transmisión por onda portadora, los principales causantes de la distorsión de retardo son los transformadores y filtros de las unidades de canal o las de grupo, supergrupo y grupo maestro de canales.

La distorsión de retardo sólo se convierte en un problema cuando comienza a perjudicar la recepción de las señales, dificultando la compresión de la información. En el caso de la transmisión telefónica, dicha distorsión pasa desapercibida debido a que el oído humano es relativamente insensible a las variaciones de fase en función de la frecuencia de las señales de voz.

En cambio, las señales de información digital son muy vulnerables a los efectos de la distorsión de retardo. Los dígitos binarios o *bits* normalmente se generan como impulsos de forma rectangular, los cuales modulan la onda portadora a una velocidad determinada para su transmisión. Con este método se producen señales analógicas moduladas en amplitud (MA) o moduladas en frecuencia (MF), que tienen numerosas componentes.

La envolvente de las señales MA o

MF es el resultado de la suma vectorial de la frecuencia fundamental y las armónicas. Las señales de esta clase llegan a sufrir una fuerte distorsión si se transmiten por un circuito cuyas características de fase en función de la frecuencia no sean lineales. Más aún, la energía de la señal puede disiparse hasta el punto de producir una interferencia mutua entre impulsos contiguos. En estas circunstancias es difícil o imposible que el receptor pueda detectar correctamente el contenido de información de cada bit. (Por ejemplo, el dígito binario 1 es susceptible de interpretarse como si fuera 0 o viceversa.)

Al analizar las causas de la distorsión de retardo de una línea u otro medio de transmisión debe tenerse en cuenta que las características se alteran cuando existe un considerable desequilibrio de impedancias entre secciones de la línea o entre la línea y los equipos de la central. La presencia de corrientes reflejadas suele causar una distorsión total muy diferente de la que indicaría el análisis independiente de los diversos componentes de la línea. Este efecto se observa principalmente en baja frecuencia o en líneas de corta longitud, donde la pérdida es relativamente baja y por lo tanto los efectos de la reflexión o interacción son mayores. En el caso de largos circuitos de cable pupinizado, las tolerancias de fabricación y el tratamiento subsiguiente del cable pueden producir una variación considerable entre el retardo real y el valor calculado con fórmulas o gráficos. Otro problema que se presenta es el espaciamiento de las bobinas de carga, que generalmente varía del calculado teóricamente debido a la necesidad de espaciar las bobinas de acuerdo con la ubicación de los pozos de inspección o la separación de los postes telefónicos existentes.

Métodos de medición

Existen dos métodos corrientes para medir la distorsión de retardo de los circuitos de comunicaciones. El primero se basa en la medición de la variación de fase (defasaje) del circuito. La medición se efectúa con un fasímetro o mediante figuras de Lissajous en un osciloscopio. Este método, que se emplea generalmente en el laboratorio, resulta largo y fatigoso

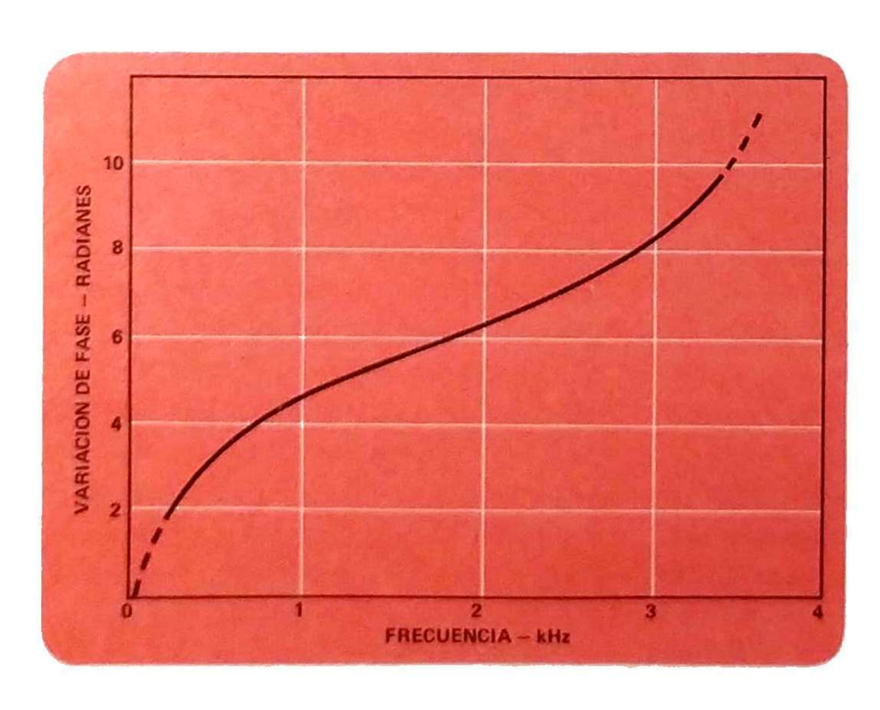


Figura 2. Curva característica de la variación de fase en función de la frecuencia de un circuito típico de comunicaciones.

porque primero deben calcularse las características de variación de fase en función de la frecuencia; luego deben hacerse mediciones de pendiente, punto por punto, para obtener la curva de retardo. Este procedimiento, que demanda una gran precisión, sólo resulta práctico cuando los dos equipos terminales del circuito se encuentran disponibles en un mismo sitio. También se utiliza ocasionalmente en redes de transmisión donde hayan dos circuitos idénticos, de forma que puedan conectarse en vuelta cerrada al punto de medición.

En la figura 2 se ilustra una curva característica de la variación de fase en función de la frecuencia de un canal de comunicación típico.

El segundo método, que resulta relativamente fácil, consiste en medir las características de retardo de envolvente del circuito en lugar de las características empleadas en el primer método. El retardo de envolvente de una frecuencia determinada es igual a la pendiente de la curva de defasaje-frecuencia de dicha frecuencia. Por lo tanto, este retardo puede determinarse midiendo el defasaje de dos frecuencias con desplazamiento incremental y calculando luego la pendiente. El grado de exactitud de la medición depende de la separación incremental entre ambas frecuencias. Mientras más próxima esté una frecuencia de la otra, más preciso será el resultado. Con la medición de la pendiente en diversos puntos de la banda de paso del circuito se obtiene una indicación indirecta de la característica de fase en función de la frecuencia.

Sin embargo, no es indispensable usar dos frecuencias de desplazamiento incremental. El procedimiento normal es transmitir una frecuencia portadora modulada en amplitud a través del circuito en prueba y medir el defasaje resultante de la envolvente de modulación. Este cálculo resulta muy sencillo y se obtiene el mismo resultado que con el método anterior.

Al transmitirse una señal MA por el circuito, la energía de la portadora y de las bandas laterales superior e inferior se desplazará en el tiempo de acuerdo con la característica de frecuencia-fase del circuito. Esta condición, que se ilustra en la figura 3, significa que la envolvente de la señal

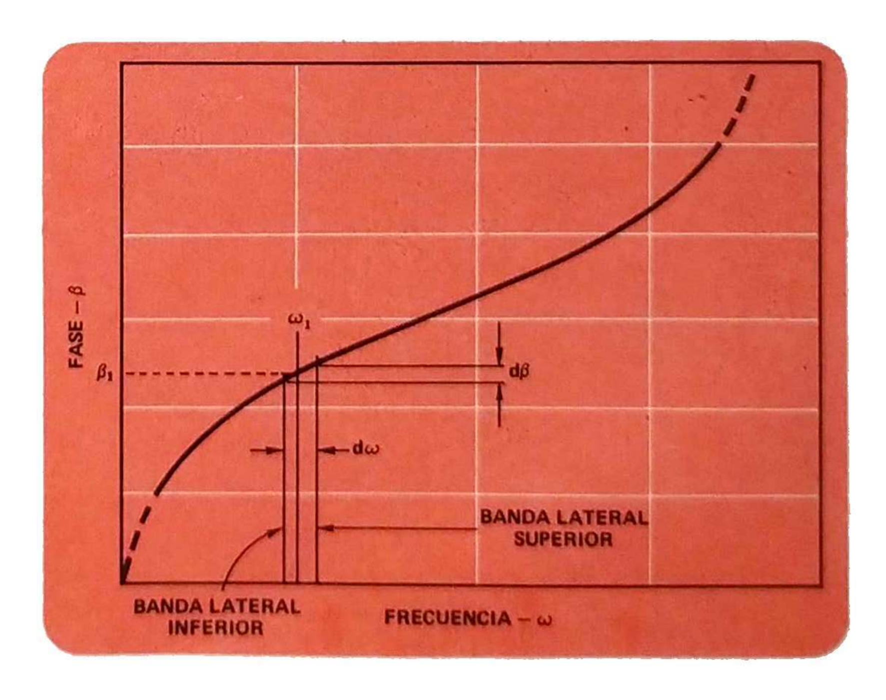


Figura 3. Curva característica de retardo de envolvente de una frecuencia portadora modulada en amplitud. En la figura se usa como ejemplo la frecuencia portadora ω_1.

se desplazará en fase con respecto a la portadora en una proporción equivalente al valor medio de la pendiente de las dos bandas laterales (suponiendo que tengan la misma amplitud). El grado de variación de fase se denomina *retardo de envolvente.*

Por regla general, mientras menor sea la frecuencia moduladora más se acercará la variación de fase de la envolvente al valor efectivo de la pendiente en el punto correspondiente a la frecuencia portadora. En la práctica generalmente se supone que la variación de fase de la envolvente de la portadora MA es igual a la pendiente de la curva de fase-frecuencia del circuito en el punto de la portadora (véase la figura 3). Si la señal de prueba se sintoniza o se desplaza en toda la banda bajo prueba, en el extremo de recepción se detectará una variación que dará una medida indirecta de la característica de fase-frecuencia del circuito. En la figura 4 se ilustra una curva de retardo de envolvente en función de la frecuencia.

Se han desarrollado diversos instrumentos de medición y prueba para determinar el retardo de envolvente de los circuitos de comunicaciones. Por ejemplo, el probador de retardo Sierra modelo 340B que se muestra en la figura 5 genera una portadora MA que puede regularse manualmente o por barrido electrónico dentro de una gama que abarca toda la banda de voz y las frecuencias de grupo y supergrupo de canales. La portadora normalmente se modula en 50% con una de las tres frecuencias que genera el instrumento.

Como se ha mencionado anteriomente, mientras menor es la frecuencia moduladora más significativa resulta la medición. Sin embargo, si la frecuencia es demasiado baja resulta muy difícil medir con precisión las variaciones de retardo de envolvente, por lo cual deben emplearse frecuencias de compromiso. En la industria de telecomunicaciones, para las pruebas se han normalizado tres frecuencias moduladoras –de 25 Hz, 83 1/3 Hz y 250 Hz– que se usan en la mayoría de los probadores y medidores. Estos instrumentos también procesan la señal modulada después que ésta ha recorrido el circuito. El defasaje que sufre la envolvente con respecto a la portadora

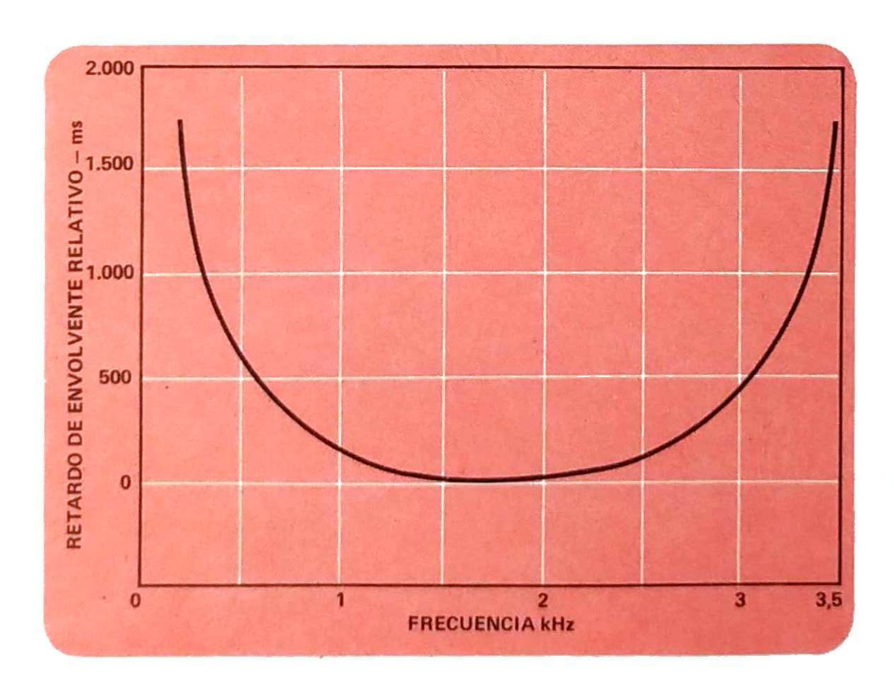


Figura 4. Curva típica de retardo relativo de envolvente en función de la frecuencia del equipo de canalización múltiplex Lenkurt 46A. (Medición tomada con interconexión de las unidades de canales.)



Figura 5. Probador de retardo de envolvente Sierra modelo 340B.

Cortesía de Sierra Electronic Operation, Philco-Ford Corp.

se mide con un detector de cruce cero. La diferencia de fase se lee directamente en un indicador numérico, que da el retardo en μs (microsegundos). Los probadores por lo general tienen capacidad para medir retardo de hasta 20 μs.

Debe mencionarse que no es el *retardo absoluto* de una frecuencia determinada sino el *retardo relativo* entre frecuencias el que reviste importancia inmediata en la igualación o compensación de un circuito para transmisión de datos. Se denomina retardo relativo a la diferencia entre el retardo de envolvente de una frecuencia dentro de la banda bajo medición y una frecuencia de retardo usada como referencia dentro de la misma banda.

En las normas de rendimiento, la distorsión de retardo de envolvente generalmente se expresa como la diferencia máxima de retardo (en microsegundos) que existe dentro de la banda de paso del circuito. Por ejemplo, las especificaciones de un circuito de enlace entre centrales pueden estipular que la distorsión de retardo no debe exceder de los siguientes valores:

80 μs entre 1.000 y 2.600 Hz.
250 μs entre 600 y 2.600 Hz.
500 μs entre 500 y 2.800 Hz.

Dicha estipulación significa que la diferencia de retardo de envolvente entre dos frecuencias cualesquiera dentro de la banda de 1.000 a 2.600 Hz no debe exceder de 80 μs y así sucesivamente. El cumplimiento de las especificaciones puede verificarse rápidamente con un probador de retardo de envolvente, como el modelo que se ilustra en la figura 5. La medición se

efectúa sintonizando la portadora MA con una serie de frecuencias dentro de la banda en prueba (por ej. 1.000 a 2.600 Hz) y anotando la lectura del retardo relativo de cada frecuencia que presenta el probador.

La medición también se puede realizar con la exploración manual o electrónica de la portadora a través de la banda en prueba, inscribiendo la información del retardo en un registrador X-Y u observándola en la pantalla de un osciloscopio.

Al restar la lectura mínima de retardo del valor máximo se obtiene una medida de la distorsión de retardo de la banda de paso en prueba. Si la diferencia entre 1.000 y 2.600 Hz es mayor de 80 μs, el circuito no cumple con las especificaciones indicadas en el ejemplo y debe introducirse compensación (o igualación).

Compensación de retardo

No siempre es necesario basarse en la medición de las características de retardo de un circuito a fin de compensarlo para tráfico de datos. Existe un procedimiento de compensación por mediciones osciloscópicas mediante figuras ovaladas o "de ojo", que se emplea en el acondicionamiento de circuitos de voz para tráfico de datos con una unidad modem determinada.

El procedimiento de compensación indicado se puede efectuar, por ejemplo, con el modem de datos Lenkurt 26C ilustrado en la figura 6, que tiene su propio generador de señales de imagen osciloscópica de prueba. El modem se coloca en el circuito y con la sección moduladora (de transmisión) se produce una señal de imagen de datos al azar. En la sección demoduladora (de recepción) se coloca un osciloscopio que se sincroniza con el generador de impulsos del demodulador. Como resultado, en la pantalla del TRC aparecen trazas u "ojos" superpuestos que indican la magnitud de la distorsión de fase presente en la señal.

De ser necesario, en el circuito se pueden insertar igualadores, ajustándolos hasta reducir al mínimo la distorsión del ojo de la imagen. Aunque este método no da la seguirdad de que el circuito quedará compensado dentro de límites específicos, en cambio suministra un ajuste rápido para obtener un funcionamiento óptimo con un modem determinado.

La labor de acondicionamiento de circuitos telefónicos para la transmisión de datos se ha simplificado y perfeccionado en gran parte gracias al empleo de probadores de retardo y compensadores variables. La mayoría de los equipos de prueba suministra una tensión analógica de salida, proporcional a la frecuencia portadora y al retardo de envolvente que ha detectado el receptor del modem. Dicha tensión se aplica a un osciloscopio o un registrador X-Y a fin de obtener una indicación de las características de retardo relativo en función de la frecuencia del circuito. Esta información es de gran utilidad para la igualación.

Existen varias formas de disponer los equipos de prueba para medir las características de retardo de envolvente de los circuitos de sistemas de conmunicación, tales como conexión con retorno por bucle o circuito cerrado y conexión entre dos puntos terminales con o sin señal de retorno de referencia. Estas disposiciones se ilustran en la figura 7.

El método de retorno por bucle se usa principalmente en pruebas de laboratorio o en verificación de fábrica para medir las características de los circuitos cuando ambos equipos terminales se encuentran disponibles en el mismo sitio. La conexión entre dos puntos terminales con retorno de refe-

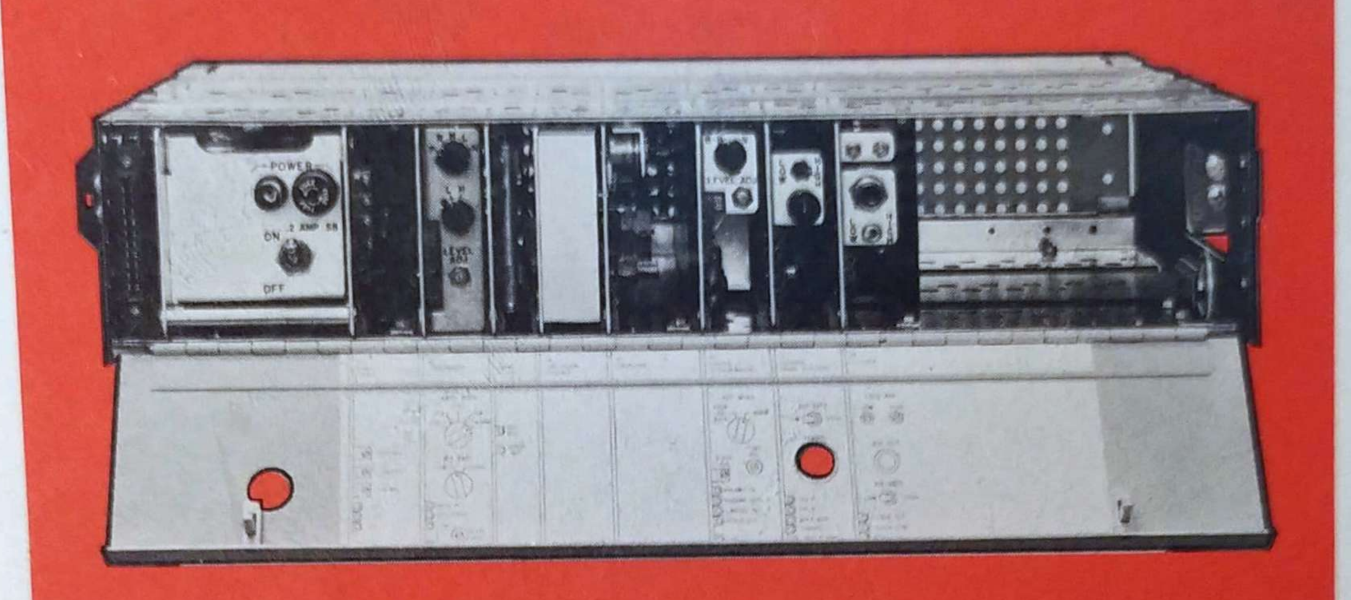


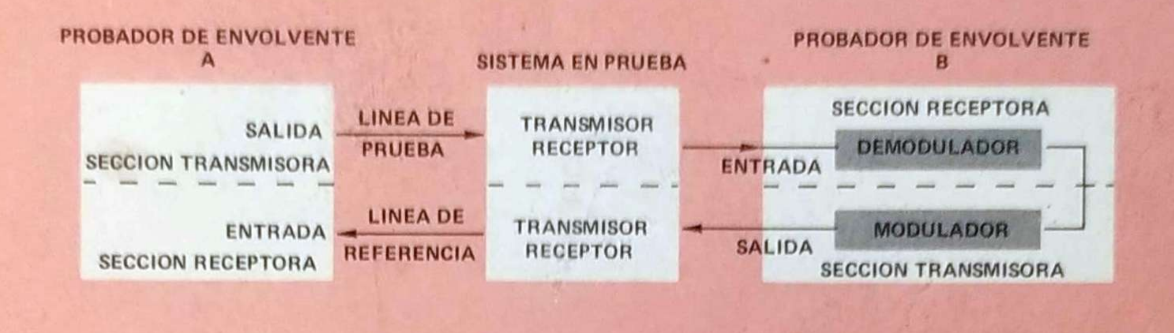
Figura 6. Unidad terminal modem de datos Lenkurt 26C. Se compone de una sección moduladora para transmisión de datos y otra demoduladora para recepción.

rencia generalmente es el de mayor precisión debido a que se obtiene una mejor sincronización entre las secciones transmisora y receptora del equipo de prueba.

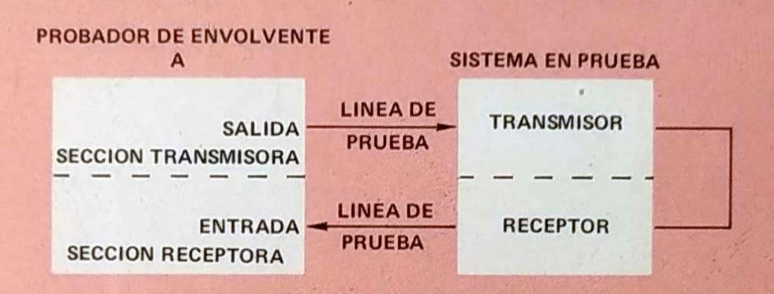
Para hacer la mediciones con el método de conexión entre puntos terminales, que es el más práctico, se necesita un técnico en cada extremo del circuito. También debe contarse con un canal de servicio o hilo de órdenes para la comunicación entre ambos técnicos. En uno de los extremos se desconecta el transmisor del equipo terminal y en su lugar se inserta la sección transmisora del probador. En seguida dicha sección se conecta al extremo opuesto del circuito. También puede insertarse un registrador X-Y en el receptor para facilitar la compensación del circuito.

Es importante comprender que no se puede reducir el retardo absoluto dentro de un circuito. Los compensadores sólo corrigen el valor relativo de la distorsión de retardo (y la amplitud correspondiente) de la banda de paso, en un punto específico del circuito. Dicho punto por lo general queda en el terminal de recepción. La distorsión de retardo relativo se corrige principalmente aumentando el retardo en las porciones de la banda donde la distorsión de la señal es baja. En esta forma, los niveles de distorsión resultante en toda la banda se ajustan al valor más elevado de distorsión, obteniéndose así un aplanamiento eficaz de la respuesta de la banda de paso. Aunque el retardo absoluto (total) entre los extremos del circuito haya aumentado ligeramente

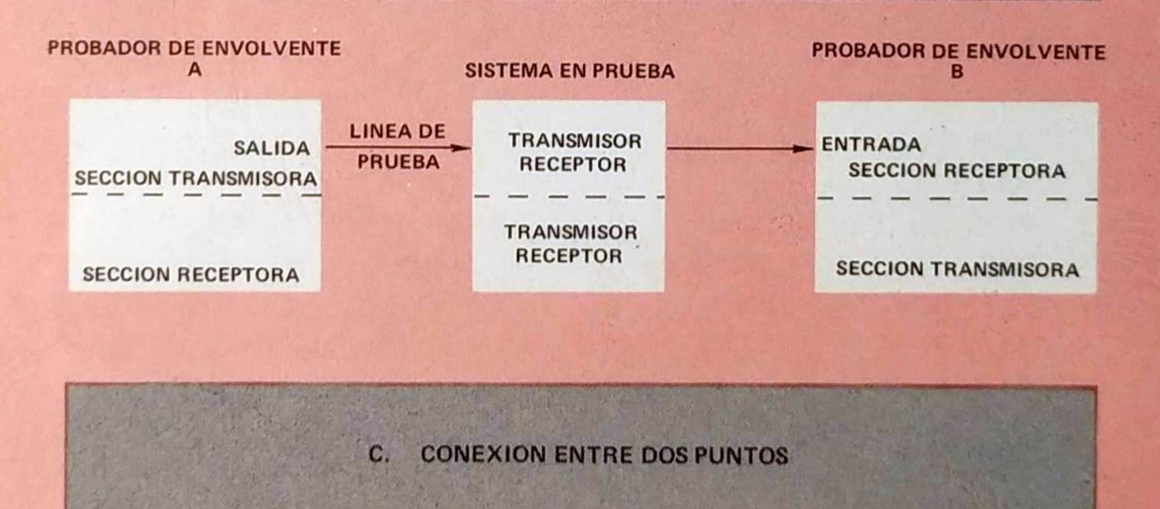
(A la pág. 12)



A. CONEXION CON RETORNO POR LINEA DE REFERENCIA



B. CONEXION CON RETORNO POR BUCLE (CIRCUITO CERRADO)



C. CONEXION ENTRE DOS PUNTOS

Figura 7. Diversas disposiciones de equipos de prueba para medir las características de retardo de envolvente de circuitos de comunicaciones.

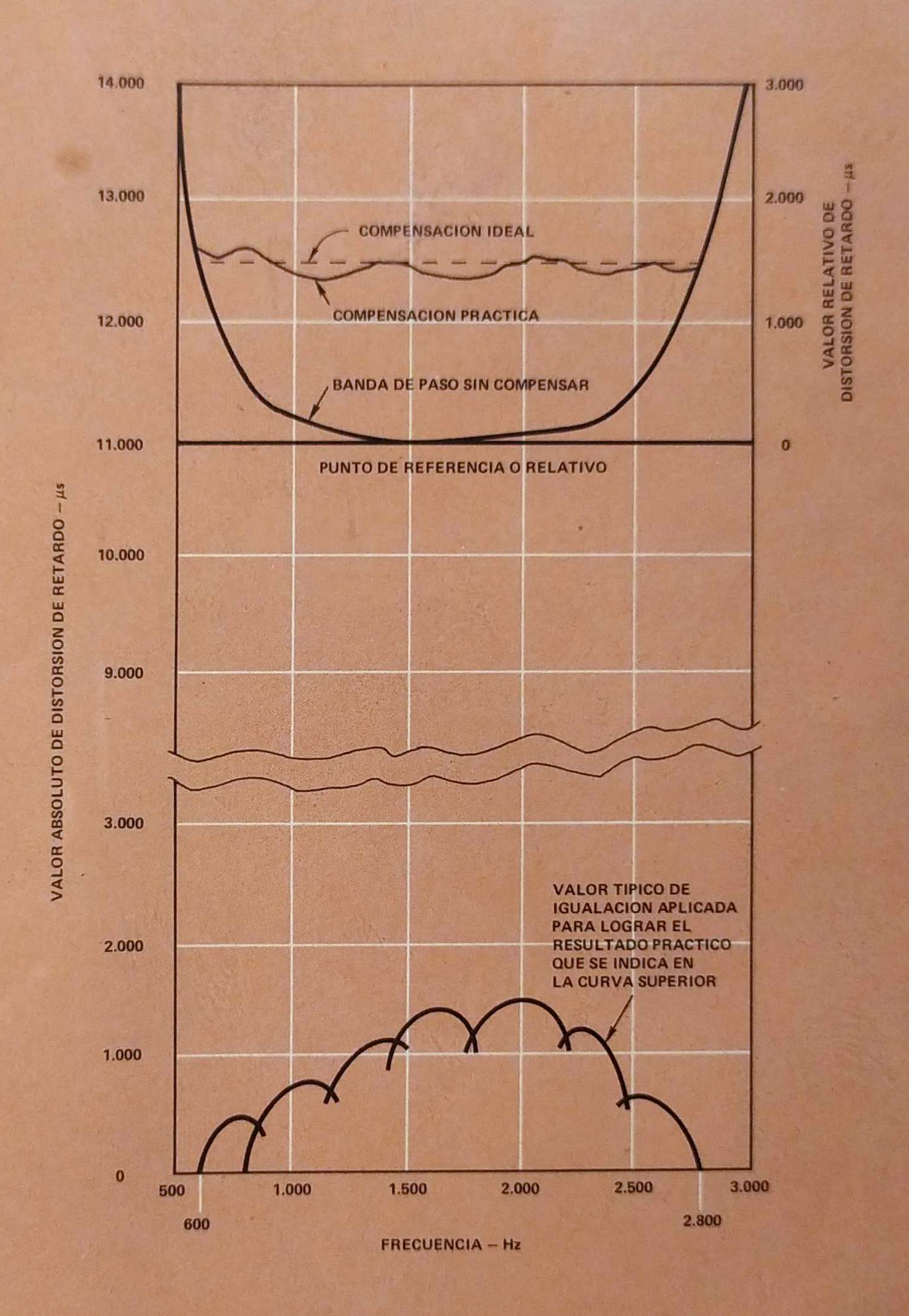


Figura 8. Relación que existe entre el valor relativo y el valor absoluto de la distorsión de retardo de envolvente.

(De la pág. 9)

en ciertas frecuencias de la banda, este tipo de distorsión pasará prácticamente desapercibido en la señal compensada.

Generalmente, para determinar la distorsión de retardo relativo primero se establece, separadamente, el valor más bajo del retardo respectivo y se determina la frecuencia correspondiente dentro de la banda para usarla como punto de referencia. En seguida se toman los valores en otras frecuencias y se comparan con el valor de referencia. En esta forma, todas las mediciones efectuadas dentro de la banda de paso del circuito darán una lectura en números positivos. En algunas situaciones, el punto cero de referencia se establece en una frecuencia específica, tal como 1.500 Hz. En tal caso, los valores de distorsión en diversos puntos de la banda pueden aparecer tanto en valores positivos como negativos con respecto al punto de referencia. En la figura 8 se ilustra la relación que existe entre los valores de distorsión relativa y absoluta.

NOTA DE LA REDACCION

En la segunda y última parte del presente artículo, que se publicará en el próximo número de *El Demodulador Lenkurt,* se tratará de la distorsión de amplitud, describiéndose los métodos utilizados para superar sus efectos en la transmisión de datos.

GENERAL TELEPHONE & ELECTRONICS INTERNATIONAL



representantes internacionales de **LENKURT ELECTRIC**

Diríjase toda correspondencia a:

Director
El Demodulador Lenkurt
General Telephone & Electronics Int'l
1105 County Road
San Carlos, California 94070, EE. UU.

El Demodulador Lenkurt es una publicación técnica mensual editada por la fábrica de sistemas de telecomunicaciones Lenkurt Electric Company y distribuida gratuitamente por General Telephone & Electronics International entre el personal y firmas del ramo de telecomunicaciones. Previa solicitud al director se permite la reproducción, rogándose emplear la siguiente mención: **De El Demodulador Lenkurt.**